



1

Vista aérea: Se aprecian los huecos para la colocación de los gatos hidráulicos de descimbre.

Palacio de Deportes de Oviedo ESPAÑA

ILDEFONSO SANCHEZ DEL RIO PISON,
Dr. Ingeniero de Caminos

sinopsis

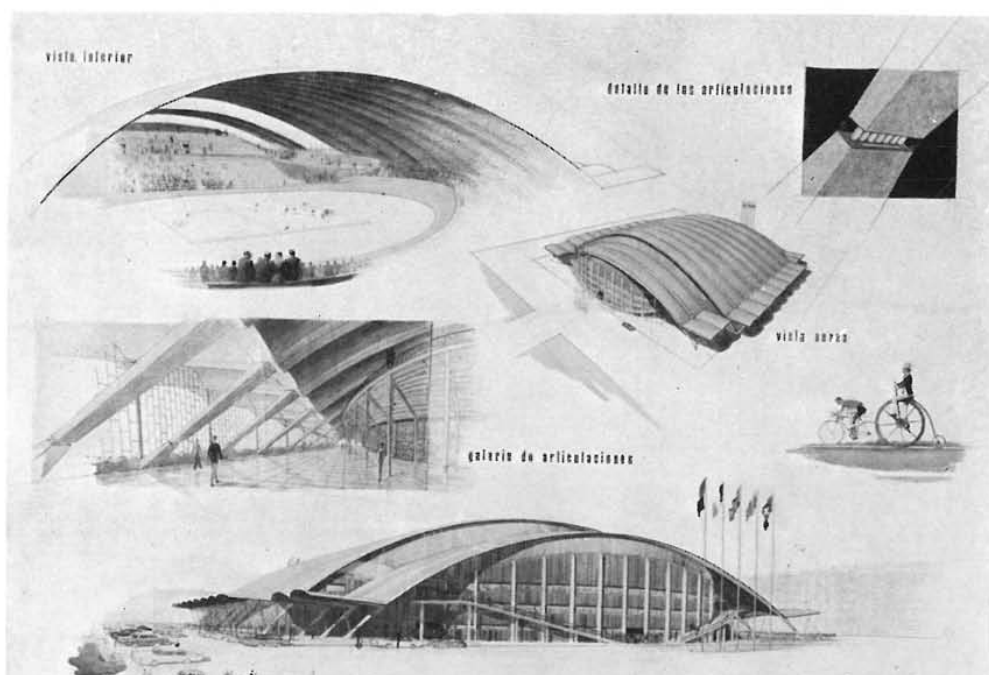
886 - 34

El Palacio de Deportes de Oviedo está cubierto por una gran nave formada por tres bóvedas parabólicas biarticuladas; de ellas, una grande, central, y dos laterales de menor luz.

El método constructivo utilizado en estas bóvedas cilíndrico-onduladas es el de los «arcos-onda» constituidos por «dovelas-onda», las cuales consisten en el acoplamiento de grandes piezas especiales cerámicas de forma previamente estudiada.

La parte central está compuesta por ocho arcos-onda, de 7 m de anchura y 100 m de luz, y cubre la sala de deportes con sus tribunas, la pista de 180 m de desarrollo y el rectángulo de 30 x 60 m para juegos deportivos. Las bóvedas laterales que cubren las dos tribunas principales están formadas por dos arcos-onda, de 90 m de luz, articulados en los arranques y continuos en la clave.

Debido a su gran luz, 100 m, que la convierten en la mayor de las cubiertas cilíndricas de este tipo construidas hasta ahora, su gran luminosidad interior, su impresionante esbeltez, y sus originales procedimientos constructivos, constituyen una base importante para poder realizar bóvedas de mayor luz.



2

Perspectiva general del proyecto presentada en el Congreso sobre Estructuras Laminares, celebrado en San Francisco.

73

En este artículo se hace referencia, principalmente, a la cubierta del Palacio de Deportes de Oviedo, resumiendo la parte esencial de su proyecto de modo que el lector pueda formarse una correcta idea del mismo y acompañando una amplia información gráfica que contribuye a una rápida y fácil comprensión del original sistema constructivo empleado.

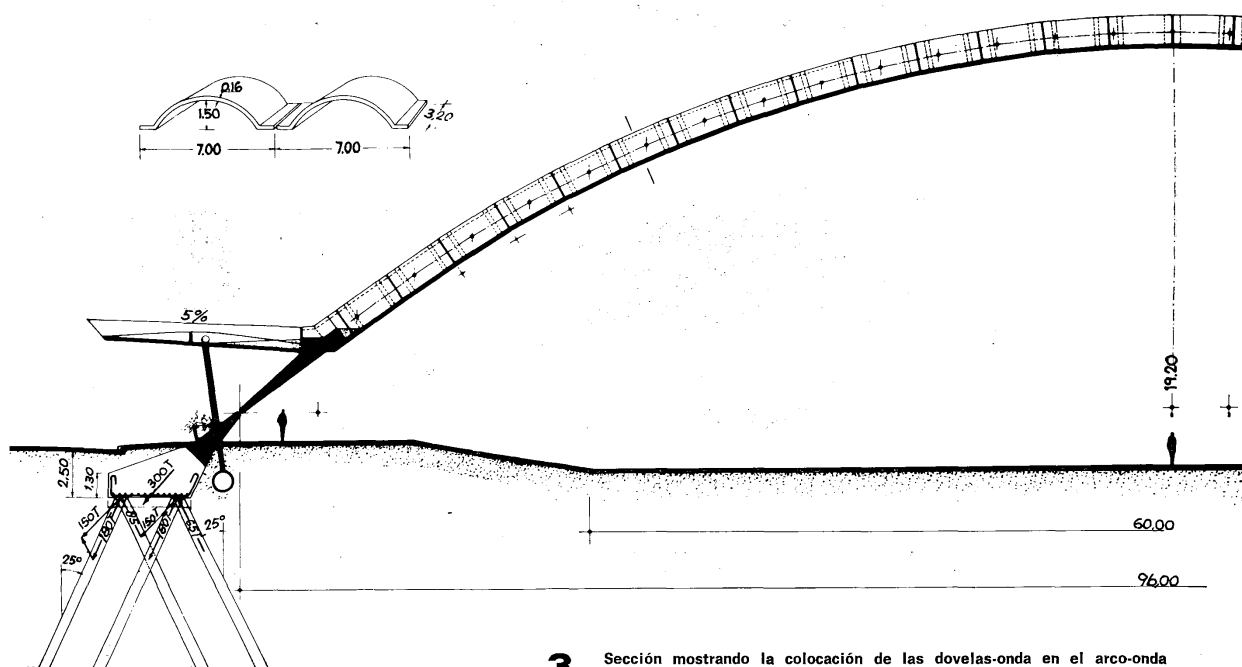
La memoria del proyecto presentado al Ayuntamiento en junio de 1962 comienza así: Vamos a construir, si Dios quiere, y Dios lo ha querido, una gran nave integrada por tres bóvedas parabólicas biarticuladas de hormigón y cerámica armada no realizadas hasta la fecha, dada su luz de 100 m, su impresionante esbeltez y la gran luminosidad interior. El primer anteproyecto fue concebido para 110 m de luz. Pero el terreno no daba más de sí y tuve que seguir las recomendaciones de mi querido amigo el arquitecto municipal y entusiasta colaborador Fernando Cavanilles.

Con su construcción vamos a ver colmadas una de las mayores aspiraciones: el llevar a efecto el proyecto de una cubierta de 100 m luz con bóvedas cilíndricas, onduladas, autoportantes, proyectadas según nuestros procedimientos constructivos de arcos-onda, integrados por los elementos prefabricados denominados correctamente dovelas-onda, que son

las piezas fundamentales del sistema que, a su vez, están formados por el correcto acoplamiento de unas grandes piezas especiales cerámicas de forma minuciosamente estudiada. Se trata de las piezas por nosotros empleadas en los forjados de pisos de hormigón armado aligerados por su empleo.

Las figuras que acompañan al texto de este artículo serán para el lector la más eficaz y mejor explicación del sistema constructivo empleado para cubrir la gran sala de espectáculos del Palacio de Deportes de Oviedo. Aproximadamente, su superficie corresponde a un cuadrado de 100×100 m, una hectárea.

Es suficiente observar las figuras 1 y 2, dibujo del conjunto del proyecto y las correspondientes a la dovela-onda, a fin de comprender inmediatamente la solución adoptada para **tapar** a los espectadores. Se emplean 3 bóvedas cilíndricas onduladas, una grande, central, y 2 laterales de menos luz. Para la perfecta comprensión del sistema empleado recomendamos la lectura del Boletín número 9: «Of international association for shell structures» o INFORMES DE LA CONSTRUCCION, del Instituto Eduardo Torroja, número 119. De su estudio se desprende que la cubierta del Palacio de Deportes de Oviedo es la superación lógica de lo realizado hasta ahora en



3 Sección mostrando la colocación de las dovelas-onda en el arco-onda y la transmisión de empujes a los cimientos con pilotes a 25 grados.

4

Descimbramiento de dos arcos-onda con 14 gatos hidráulicos.



gran número de bóvedas cilíndricas de menor luz, en las que siempre ha regido identidad de procedimientos con el fin de sacar el mayor partido posible a las cubiertas cilíndricas.

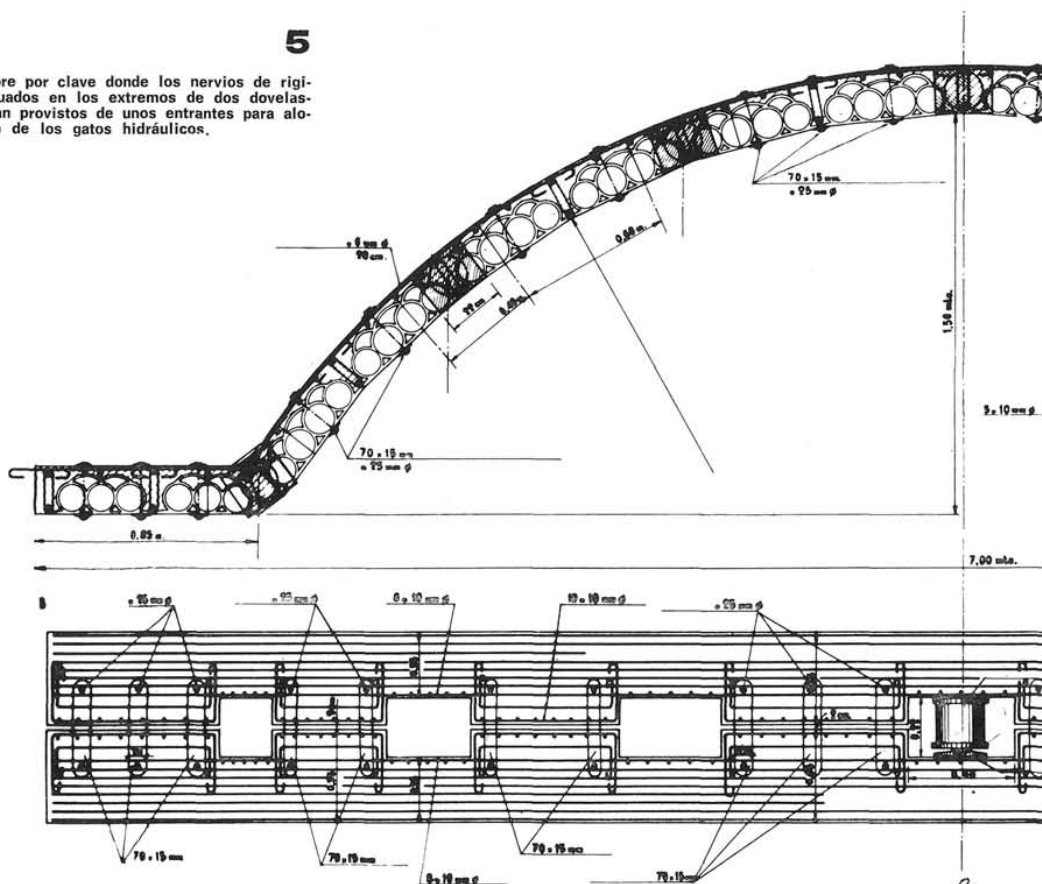
Para nosotros ha sido una gran satisfacción el haber tenido la suerte de proyectar esta obra con las soluciones originales, que lleva consigo, particularmente en lo que hace refe-

rencia a la transmisión de los empujes de los arcos-onda a los cimientos a través de unos esbeltos tornapuntas y articulaciones, de lo cual dimos cuenta al Congreso sobre Estructuras Laminares celebrado en San Francisco en 1962 (fig. 3).

Con las figuras a la vista, poca explicación requiere tanto el proyecto como el procedi-

5

Descimbre por clave donde los nervios de rigidez, situados en los extremos de dos dovelas-onda, van provistos de unos entrantes para alojamiento de los gatos hidráulicos.





6

Galería de articulaciones: Se distinguen en ella los redondos cromados.

miento de llevar a cabo la construcción de las bóvedas. De planteamiento sencillo, todo ha resultado fácil durante la ejecución de los primeros arcos-onda integrados por sus correspondientes dovelas-onda, cuya colocación sobre la cimbra no ofreció ningún inconveniente, como tampoco en las operaciones más delicadas: El descimbramiento en clave por el empuje de 14 gatos hidráulicos, que permitieron la separación en 3 cm de los semiarcos-onda y confirmar el coeficiente de elasticidad previamente admitido de 200.000 kg/cm^2 para el conjunto de la sección: hormigón-hierro-cerámica y, posteriormente, el fácil traslado de la cimbra. Esta operación de abertura en giro alrededor de las articulaciones se hizo sin ninguna dificultad, conforme a lo que se había previsto. Fue suficiente la separación mencionada para que la presión de los 14 gatos hidráulicos quedase estabilizada. Los dos arcos-onda y confirmar el coeficiente de elasticidad daba libre para su traslado (fig. 4).

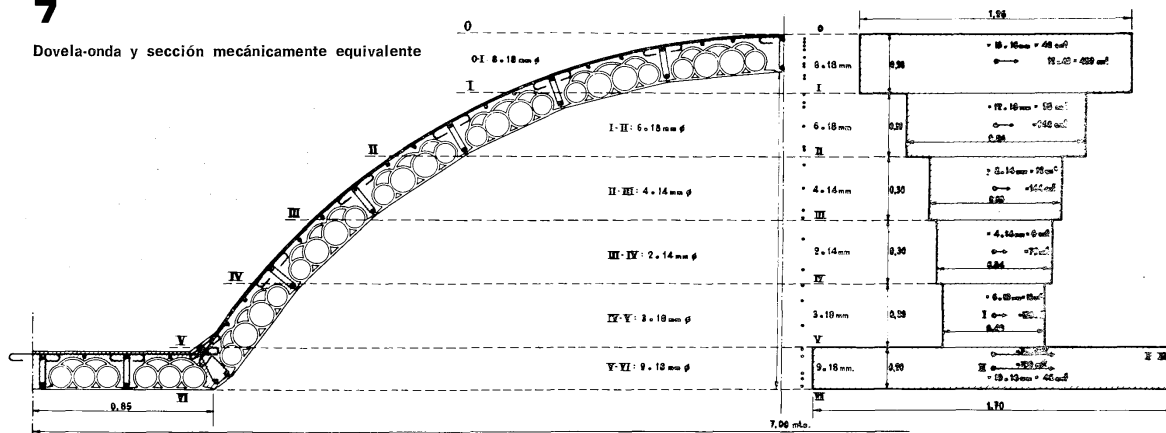
Vamos, muy brevemente, a descubrir y dar algunas cifras de lo más destacado de la obra:

CIMENTACION

Terreno malo, compuesto de arcillas blandas. Fue preciso emplear pilotes moldeados por entubación, inclinados a 25° , para compensar la componente horizontal del empuje de los arcos-onda. Algunos llegaron a alcanzar una longitud superior a los 20 m. La base de las zapatas correspondientes a los arcos-onda se ha dispuesto de modo que la resultante oblicua de 250 t pase por su centro de gravedad. Las articulaciones transmiten los empujes con la menor perturbación posible al cimentamiento (fig. 5).

Todos los pilotes han sido hincados hasta el llamado «rechazo», realizados por Frankin.

Dovela-onda y sección mecánicamente equivalente



DOVELAS-ONDA

Es la pieza fundamental del sistema. Puede decirse que la dovela-onda encierra toda la filosofía del procedimiento. Por esto, en este artículo la hacemos destacar describiéndola con detalle en los planos y en la realización de la obra.

BOVEDA

Está constituida por una parte central compuesta por 8 arcos-onda de 7 m de ancho.

La luz de éstos es de 96 m entre articulaciones y de 100 m desde los arranques del pavimento.

Y por dos partes laterales con dos arcos-onda, cada uno de 86 m de luz entre las articulaciones y 90 m desde los arranques.

Estas dimensiones son las mínimas precisas para cubrir la sala de deportes con sus tribunas, la pista de 180 m de desarrollo para atletas, incluido el rectángulo de 30 x 60 m para juegos deportivos.

Las bóvedas laterales, de menor luz, se han proyectado para cubrir las dos tribunas principales (fig. 6).

La diferencia de altura de las bóvedas y la parte superior de dichas tribunas se aprovechan para crear unos grandes lucernarios para la iluminación interior.

ARCOS-ONDA

Dadas las características de los arcos-onda y la naturaleza del terreno con posibilidad de pequeños asentamientos en los cimientos, hemos aceptado, como solución más conveniente, la del empleo de arcos articulados en los arranques y continuos en la clave. Esta disposición nos permitía emplear gatos hidráulicos en ella para el descimbramiento y traslado de la cimbra.

Se ha aceptado para la figura de la directriz de los arcos-onda la parábola de cuarto grado que en la de 96 m de luz y rebajamiento de 1/5, referida a una articulación, corresponde a la ecuación:

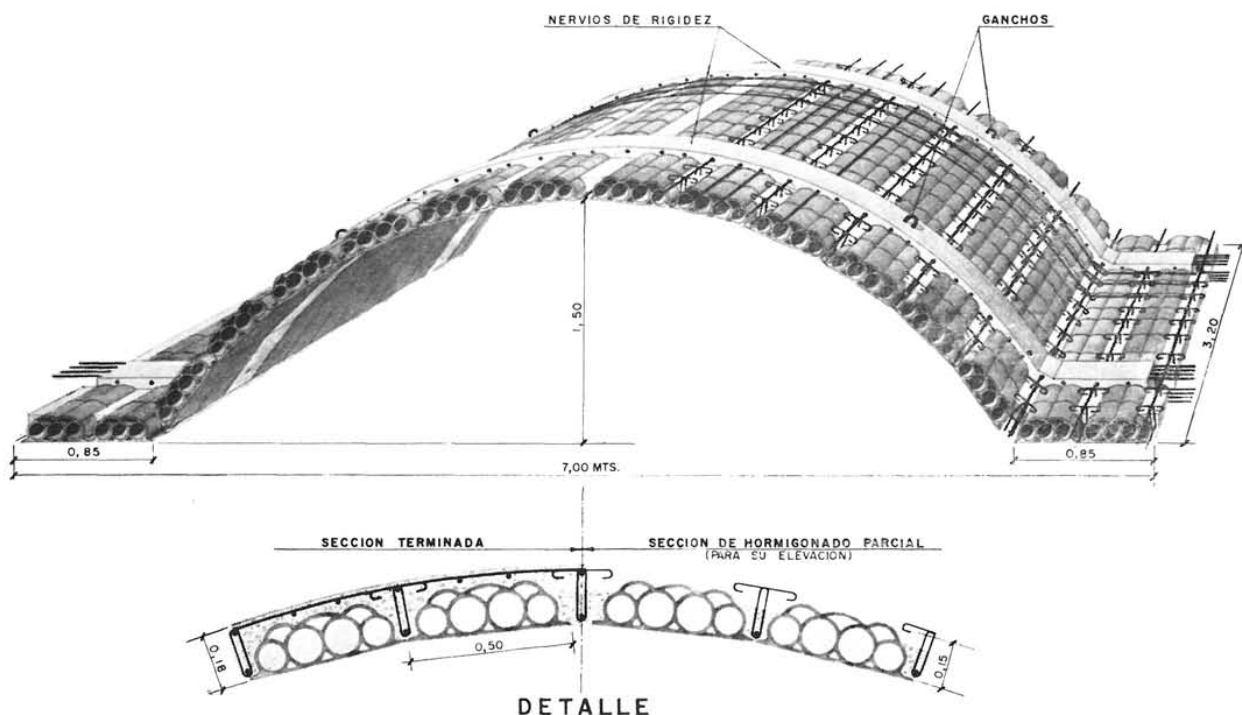
$$y = -\frac{1}{129.000} [0,05425 x^4 + 950 x^2] + 19,20$$

que es sensiblemente la figura antifunicular del peso propio del arco.

La cifra 129.000 es el empuje horizontal del arco en kilogramos.

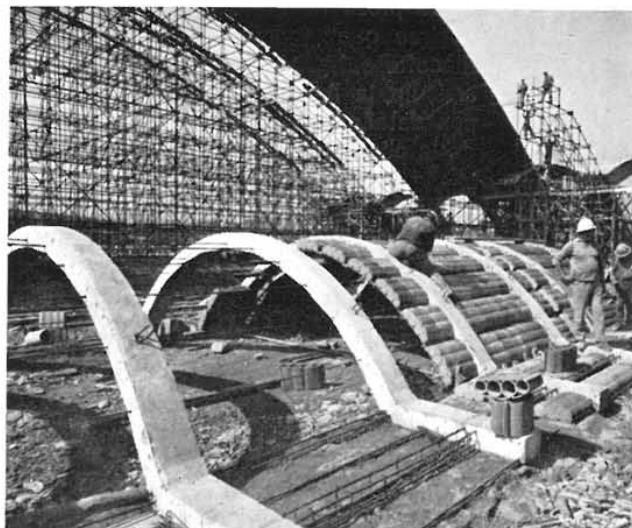
CALCULO

Hemos basado su cálculo en la transformación de la sección de un arco-onda en un nervio de hormigón armado de alma variable, mecánicamente equivalentes con coincidencia de sus centros de gravedad. En estas condiciones se puede sustituir, a efectos de todo



7a

Detalle de la dovela-onda mostrando una sección hormigonada parcialmente para reducir el peso de elevación a 5.000 kg que puede ser levantado fácilmente por la grúa.



7b

Fabricación de dovelas-onda, nervios de rigidez y hormigonado parcial.

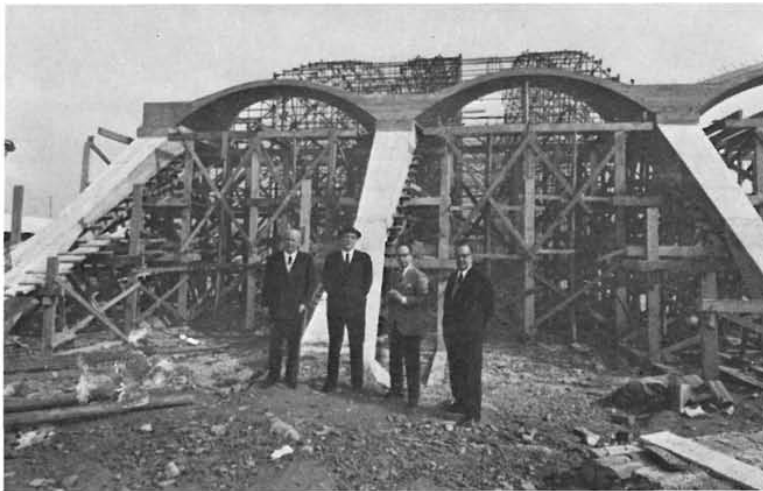
7c

Prueba de carga de una dovela-onda apoyada en cuatro puntos.



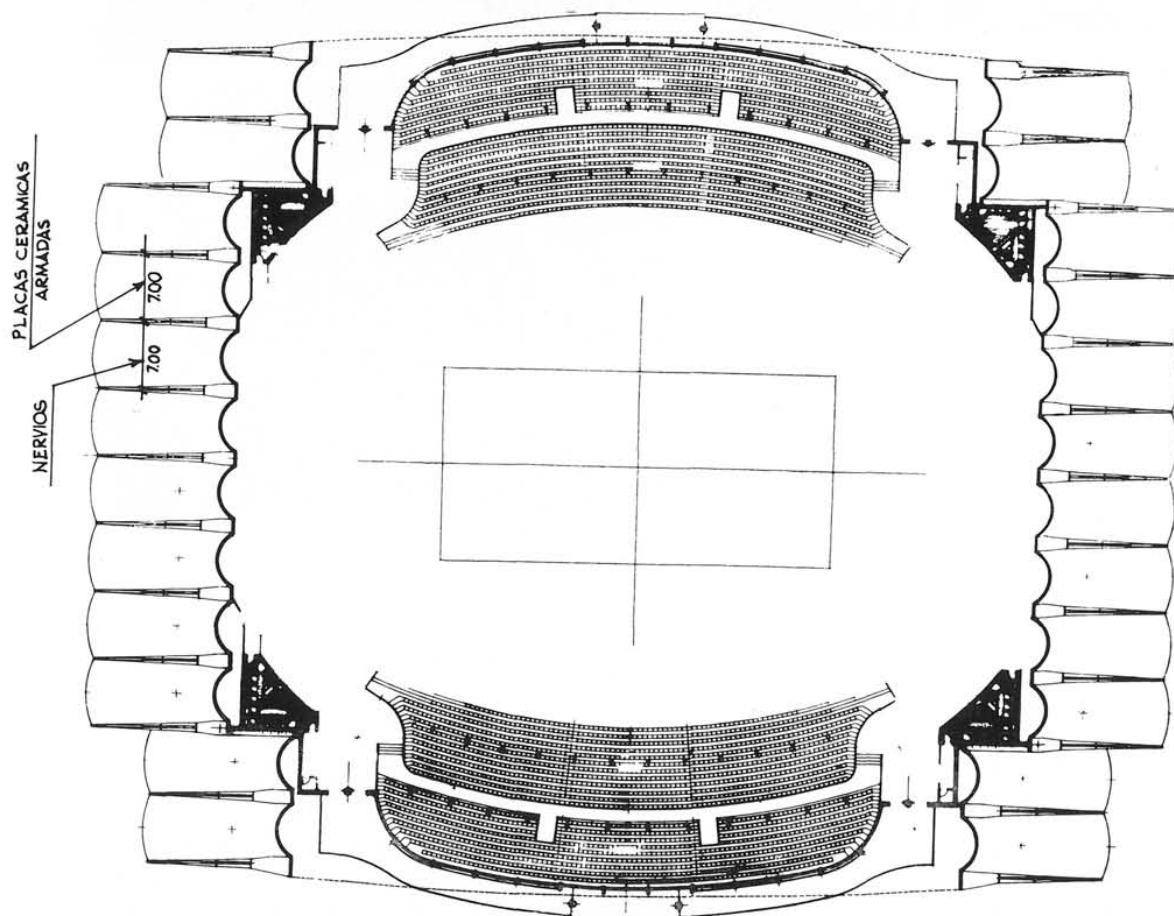
cálculo, la sección onda por la sección nervio (una doble T disimétrica de alma variable) (fig. 7).

Solamente podía existir una interrogante: La «abertura y cierre» de la onda al ser solicitado el arco por un momento. Para esto se han creado los nervios de rigidez y ensayos rigurosos en un modelo a escala 1/10, correspondiente a un arco de 100 m de luz y en un arco «aislado» de 35 m de luz de una obra real, la de Río-Cerámica, de Madrid, que han demostrado su correcto comportamiento mecánico. Las pruebas fueron realizadas por el Laboratorio Central de Ensayos del Ministerio de Obras Públicas.



8

Contrafuertes y apoyos de los arcos-onda.



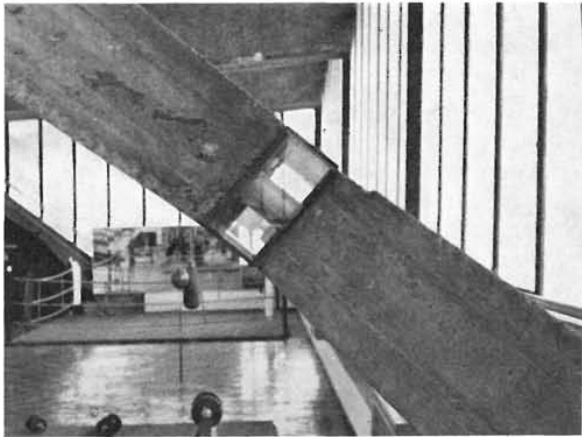
9

Planta mostrando los vuelos laterales y graderío.



9'

Vuelos laterales: Se distinguen los contrafuertes, pilares, espadines y placas curvas.



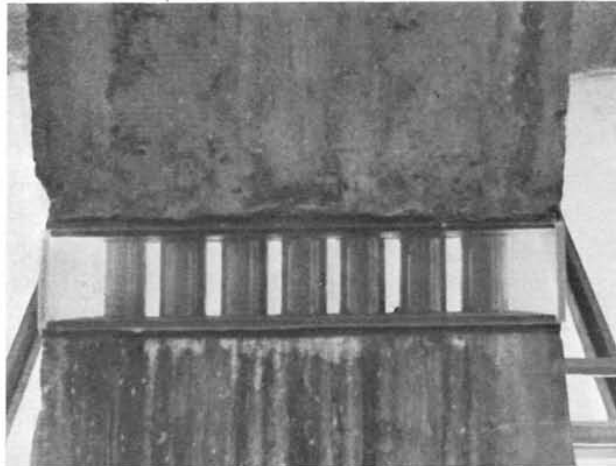
10

Detalle de una articulación con 7 redondos cromados dentro de una urna de cristal, interiormente iluminados por un tubo fluorescente: Vistas lateral y frontal.

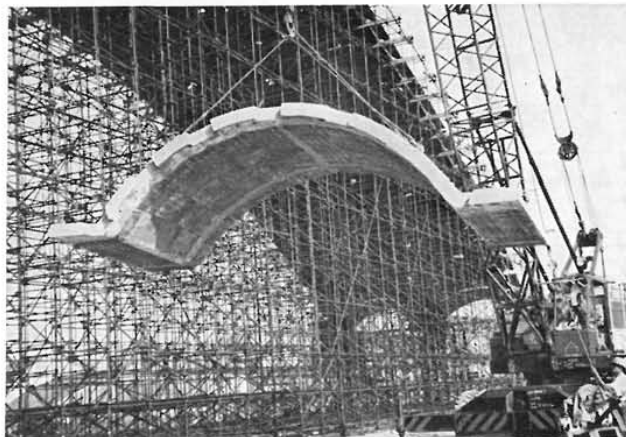
Elevación de una dovela-onda con la dentadura para la colocación de los gatos hidráulicos y el descimbramiento.

Descenso sobre la cimbra de las dovelas-onda.

Colocación sobre la cimbra de las dovelas-onda apoyadas sobre cuatro puntos.



11



12

PANDEO

En toda bóveda laminar, por las esbelteces que se consiguen, el pandeo es siempre motivo de preocupación. Para nosotros ha sido, precisamente, lo que nos hizo concebir este tipo de bóvedas onduladas. La extraordinaria rigidez de las dovelas-onda elimina totalmente los efectos del pandeo local dentro del general de un arco-onda. Los temores de un posible **abollamiento** en nuestro caso no existen.

Nuestros cálculos han partido de la aceptación de un coeficiente $E = 200.000 \text{ kg/cm}^2$ que, como hemos visto, ha sido, sensiblemente, el obtenido en las medidas, al descimbrar los arcos-onda.

Coeficiente de seguridad teórico aplicando la fórmula de la presión crítica P_c para el pandeo local:

$$P_c = KE \frac{e}{R}$$



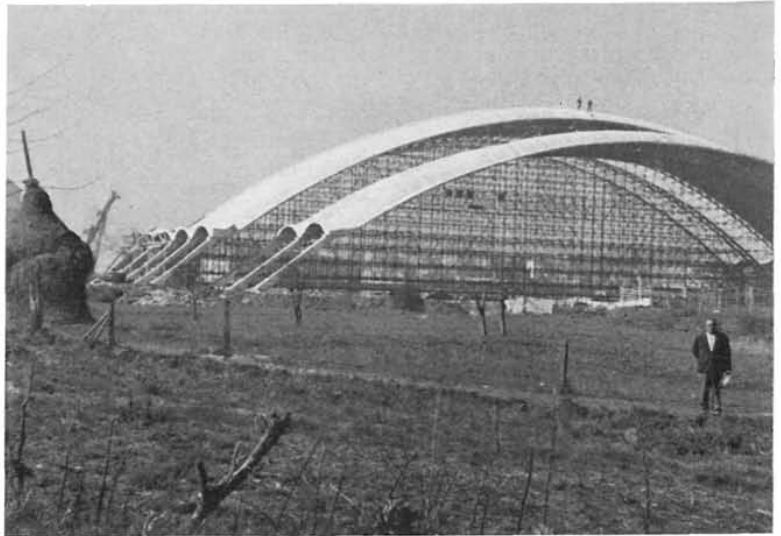
13



14

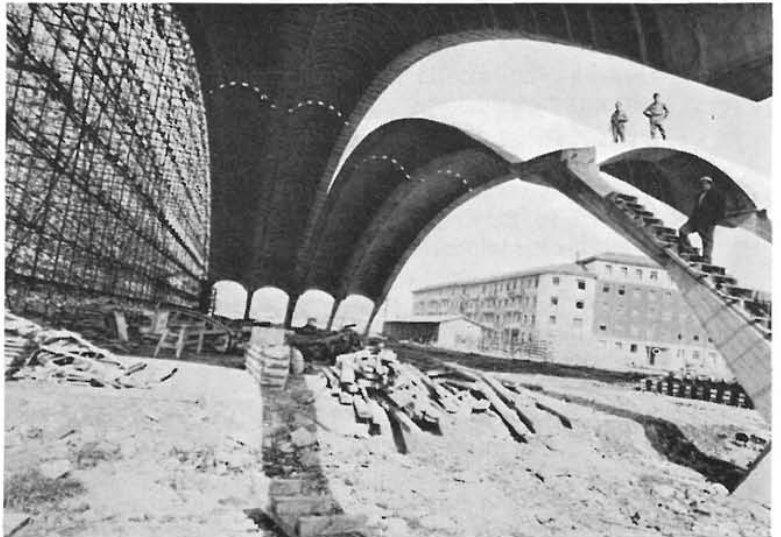
15

Vista de dos arcos-onda desiguales en construcción.



16

Interior de dos arcos-onda desiguales y huecos para la colocación de los gatos hidráulicos y el descimbramiento por clave.



17

Uno de los frentes en el que se ven: Los dos arcos-onda, los vuelos laterales de placas curvas de cerámica armada de 7 m de luz, los accesos al palacio y las articulaciones.



Resulta ser superior a 8, aceptando: $0,17 < K < 0,20$, y para $KE = 18.000$.

En cuanto al pandeo general, partiendo de la fórmula de Euler de la presión crítica P_c :

$$P_c = K \frac{\pi^2}{EI \times l^2} \quad \text{para } K = 1$$

Obtendremos un coeficiente de seguridad superior a 3, con las dimensiones y estructuras de la dovela-onda del proyecto. No es preciso insistir acerca de la facilidad con que podemos aumentar, si deseamos, dicho coeficiente, jugando con el espesor de la dovela-onda, dígame altura de piezas cerámicas, o con la flecha de la onda, para aumentar su inercia.

TRANSFORMACION DE EMPUJES DE UN ARCO-ONDA A LAS ARTICULACIONES

Este ha sido uno de los problemas más importantes que hemos tenido que resolver, al querer apoyar la bóveda ondulada en puntos aislados para evitar toda coacción en la libertad de sus movimientos. Por otra parte, «esta manera de apoyar» es lo que comunica a las cubiertas onduladas su espectacularidad, que en grado máximo va a reflejarse en estos arcos-onda de 100 m de luz, debido a la singular disposición dada a las articulaciones que hemos querido hacer resaltar de un modo atrayente e inacostumbrado.

La transmisión de estos empujes ha sido estudiada con todo detenimiento con el fin de que, en ningún momento, la directriz coincidente con la curva de presiones en su estado de funicularidad sufra alteración y siga perfectamente centrada a lo largo de la tornapunta hasta la articulación.

Se han construido unos «apoyos-onda» para el apoyo perfecto de los arcos-onda (fig. 8).

El haber logrado esto nos permite, ahora, tener la satisfacción de mostrar al lector la fotografía de la galería de articulaciones (figura 6).

DESCIMBRAMIENTO POR CLAVE

En estos arcos-onda de 100 m de luz, articulados en los arranques, el descimbramiento que más ventaja presenta es por clave. Es decir, por separación de los dos semiarcos (figura 10).

Ahora bien, en nuestro caso la sección en la clave es la de las dovelas-onda que en ella concurren. La aplicación de los gatos hidráulicos precisos para llevar a cabo la operación ha requerido un estudio detenido para poder efectuarlo, puesto que la fuerte presión de separación por ellos ejercida podría afectar a la integridad de las piezas cerámicas, que es necesario proteger. Esto se ha conseguido trasladando los «nervios de rigidez» de las 2 dovelas-onda de la clave a sus bordes, y creando en ellos unos entrantes para alojar los gatos hidráulicos (fig. 5). La operación se ha efectuado en los arcos-onda empleando 14 gatos hidráulicos. El empuje de separación fue de 140.000 kg por arco-onda, siendo 129.000 kg el empuje teórico, como hemos visto. La operación se realizó cada 2 arcos-onda (fig. 4).

VUELOS LATERALES

El complemento de las bóvedas, y como un alargamiento de su ondulación, son los vuelos laterales. No ha sido tarea fácil proyectarlos, sobre todo por las características y cualidades exigidas a ellos:

En primer lugar, debían ser continuidad de las bóvedas onduladas armonizando con su arquitectura. Por ser vuelos, era condición indispensable que tuvieran un mínimo peso y máxima esbeltez y que estas cualidades le fueran transmitidas al espectador. El problema, además, se complicaba, porque de ellos tenía que salir la solución para la evacuación de las aguas de lluvia de la gran cubierta, que se presentaba lleno de dificultades ante las pocas posibilidades de encontrar disposiciones que no afectasen al decoro ingenieril y arquitectónico de la obra, ya que no podíamos admitir soluciones colgantes ni bajadas visibles que rompiesen la tranquilidad de unas disposiciones impresionantemente diáfanas.

Felizmente, todo quedó resuelto, conforme al proyecto, mediante la construcción de nervios en forma de espadines, para evitar pesos en sus extremos, que servirán de apoyo a unas placas curvas, que no producirán empujes, formadas con piezas especiales de cerámica de gran ligereza. Seguramente no hubiéramos adoptado esta solución de no haber tenido la gran experiencia en la construcción de forjados para pisos y bóvedas con elementos cerámicos.

18

Vista interior central de la gran bóveda completa y dos parciales de bóvedas laterales, lucernarios, graderios y pista rectangular.



19

Vista parcial interior: Se aprecian la bóveda central, bóveda lateral, lucernario, graderio y pista para juegos deportivos.



En cuanto a la evacuación de las aguas de lluvias de la cubierta, la solución se encomendó a los pilares de apoyos de los nervios, al concebirlos de sección circular con un forro interior de 25 cm \varnothing de fibrocemento, con una envolvente resistente de hormigón armado. Seguramente los espectadores no se darán cuenta de su doble misión (figs. 9 y 9').

GALERIAS DE ARTICULACIONES

Es imprescindible decir de ellas dos palabras. Se han creado solas, nacidas de la misma composición estructural y funcional de la obra. Al darnos cuenta que de allí podía salir algo interesante, rápidamente abrigamos la idea de sacar el mayor partido posible a esta oportunidad que la suerte nos ofrecía (fig. 6).

Para conseguirlo no hemos hecho nada más que tratar con toda ilusión esos elementos que son las «articulaciones» para mostrarlas al público, de modo impresionista, su principalísimo papel en la estabilidad del Palacio de Deportes de Oviedo.

La articulación está formada por 7 redondos de 60 mm de \varnothing , cromados, encerrados en una urna de cristal de 10 mm de espesor, transparente, iluminada por tubos fluorescentes, situados a la altura del espectador. Se ha querido destacar así, en plan de **vedettes**, la importancia de su trabajo en la estabilidad de la obra (figs. 10 y 11).

ELEVACION Y COLOCACION DE LAS DOVELAS-ONDA

Mediante el empleo de una grúa ha sido fácil elevar y colocar sobre la cimbra las dovelas-onda con un peso de 5.000 kg en la forma indicada en las figuras 12, 13 y 14.

BOVEDAS DE 200 m DE LUZ

Construidos con toda normalidad en el Palacio Municipal de Deportes de Oviedo varios

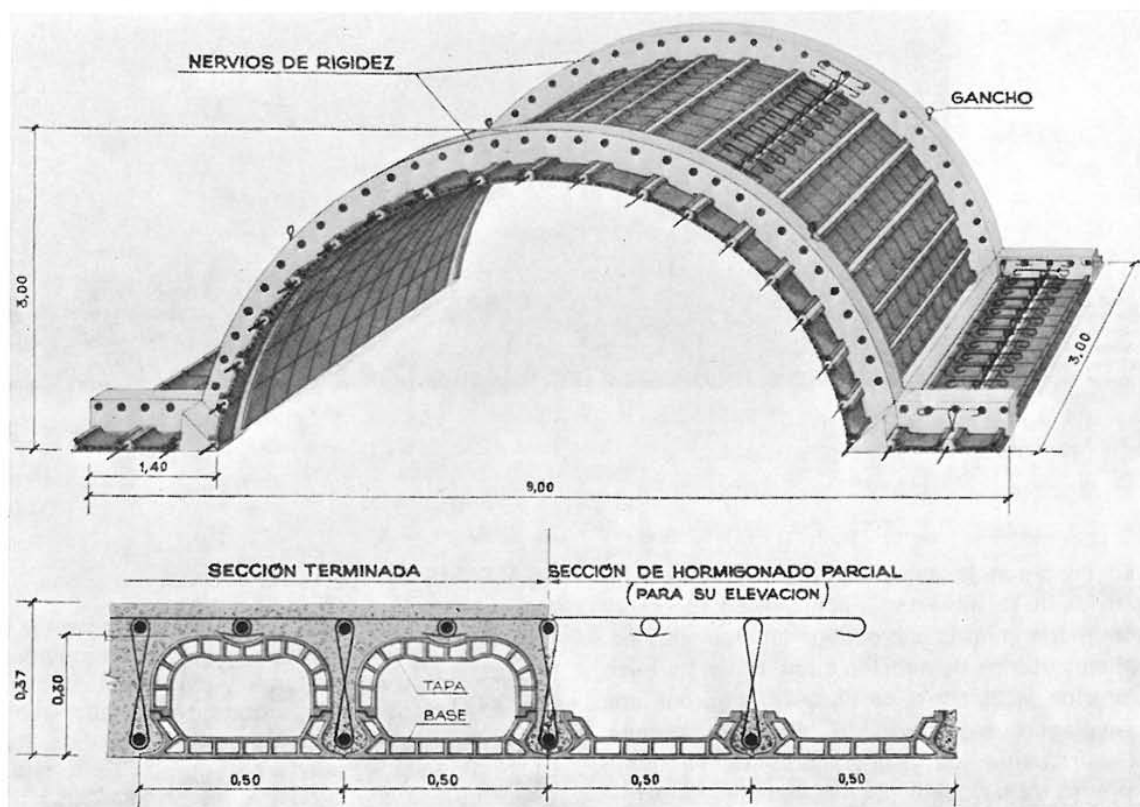
arcos-onda de 100 m de luz, mediante el empleo de dovelas-onda especialmente estudiadas, podemos afirmar ahora que no existe ningún inconveniente, sea teórico o constructivo, para realizar arcos-onda de mucha mayor luz. Todo es cuestión de proyectar correctamente la dovela-onda adecuada.

Cerramos el ciclo de las figuras de este artículo con un detallado dibujo de lo que será una dovela-onda aligerada (véase dibujo) para una bóveda de 200 m, concebida para que garantice a su arco-onda las máximas seguridades para su buen comportamiento a toda clase de pandeo, dándole, por otra parte, grandes facilidades para ser construida. Mencionaremos que el arco-onda construido para la bóveda de 100 m, aligerado, pesó 5.000 kg y fue fácilmente elevado mediante grúa para ser colocado sobre cuatro puntos de la cimbra. Se dibuja también la aplicación para una gran sala de 150×150 m (figs. 20 y 21).

Para terminar, réstanos decir que en este artículo únicamente se ha descrito la parte técnica y constructiva que afecta a la gran cubierta y vuelos laterales. El resto de la obra que corresponde a los múltiples servicios que

Dovela-onda para un arco-onda de 200 m de luz.

20

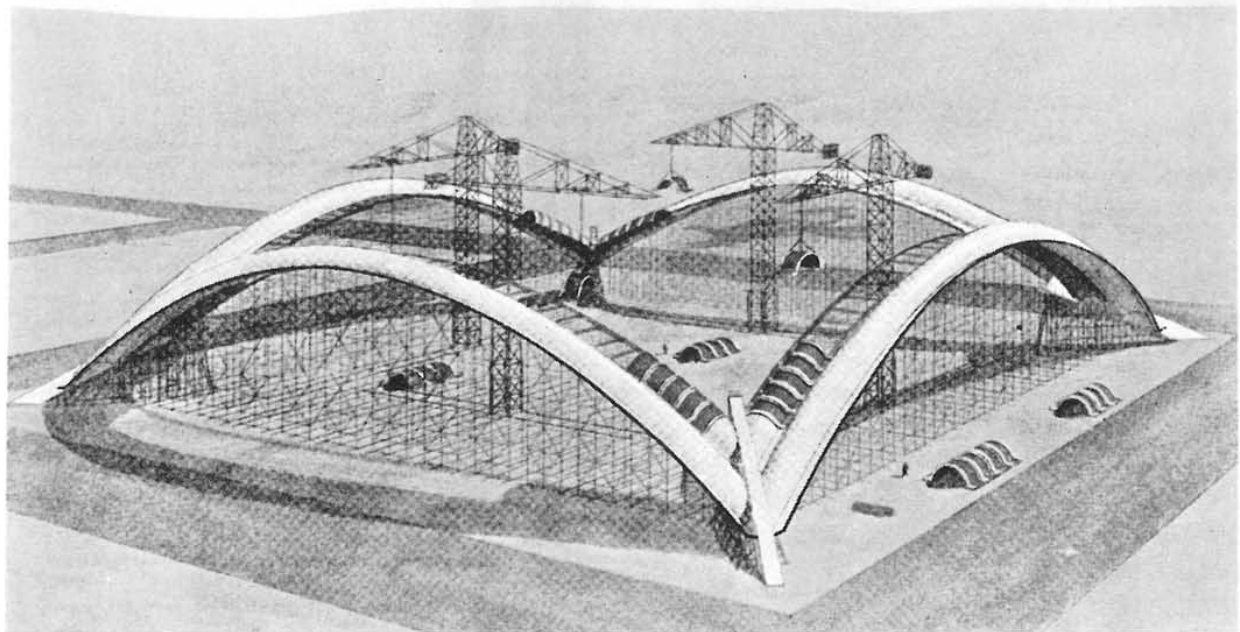


lleva aparejados toda obra de esta naturaleza ha corrido a cargo del arquitecto municipal don Florencio Muñiz Uribe, que ha sabido llevar, con todo éxito su complicada misión. Me complace también hacer constar mi reconocimiento a don José Rubio, Consejero Delegado de «Constructora Asturiana», que ejecutó

con talento y entusiasmo su cometido lleno de novedades constructivas, y mi agradecimiento también a todo el personal técnico, en particular al Ingeniero de Caminos don José Manuel Suárez, y productores que con el mismo entusiasmo ejecutaron su misión sin la más leve contrariedad.

21

Aplicación de los arcos-onda para una nave de 150×150 m de luz.



résumé

Palais des sports à Oviedo - Espagne

Ildefonso Sánchez del Río Pisón, Dr. ingénieur des Ponts et Chaussées

La couverture du Palais des sports à Oviedo est constituée par trois voûtes paraboliques biarticulées, dont l'une, au centre, est grande, et les deux autres, latérales, ont moins de portée.

La méthode utilisée pour l'exécution de ces voûtes cylindrique-ondulées est celle des «arcs-onda» constitués par des «voussoirs-onda», qui consistent en le jumelage de grandes pièces spéciales céramiques d'une manière préalablement étudiée.

La partie centrale se compose de huit arcs-onda, de 7 m de large et 100 m de portée, couvrant la salle des sports avec ses tribunes, la piste de 180 m et le rectangle de 30×60 m pour les jeux sportifs. Les voûtes latérales couvrant les deux tribunes principales sont constituées par deux arcs-onda, de 90 m de portée, articulés à la ligne de naissance et continus à la clé.

Etant donné sa grande portée, 100 m, qui la fait devenir l'une des plus grandes couvertures cylindriques construites jusqu'à présent, sa grande luminosité intérieure, son élargissement impressionnant et les procédés originaux de constructions constituent une base importante pour pouvoir réaliser des voûtes ayant plus de portée.

summary

Sports Palace in Oviedo - Spain

Ildefonso Sánchez del Río Pisón, civil engineer

The Oviedo Sports Palace is covered by a great bay formed by three biarticulated parabolic domes; of them, one large middle one and two side ones with less span.

The construction method used in these undulated-cylindrical domes is that of «wave-arches» made up of «wave-wedge pieces», which consist of coupling special large ceramic parts in a previously studied way.

The main part is made up of eight wave-arches, 7 m in height, with a 100 m span, and covers the sports hall with its tribunes, the 180 m long track and the 30×60 m rectangle for sports games. The side domes which cover the two main tribunes, are made up of two wave-arches, with a 90 m span, hinged at the bases and continuous in the key.

Due to its great span, 100 m, which makes it one of the biggest cylindrical roofs of this type built until now, its great indoor luminosity, its impressive slenderness, and its original construction methods are an important basis for being able to make domes with larger spans.

zusammenfassung

Sportpalast in Oviedo - Spanien

Ildefonso Sánchez del Río Pisón, Bauingenieur

Der Sportpalast in Oviedo wird durch ein grosses Schiff überdeckt, welches drei zweigelenkige, parabolische Gewölbe bilden, von denen das mittlere gross und die beiden seitlichen kleiner sind.

Die bei diesen wellig-zylinderförmigen Gewölben angewandte Baumethode ist die der «Well-Bögen», die von «Well-Bogensteinen» gebildet werden, bei denen es sich um aneinandergesetzte grosse Sonder-Keramikteile handelt, deren Form vorher kalkuliert wird.

Der mittlere Teil besteht aus acht Well-Bögen mit einer Breite von 7 m und einer Spannweite von 100 m und überdeckt die Sporthalle mit den Tribünen, der 180 m langen Piste und dem 30×60 m grossen Rechteck für Sport-Spiele. Die die Haupttribünen überdeckenden Seitengewölbe werden von Well-Bögen mit einer Spannweite von 90 m gebildet und diese sind am Ansatz und an den durchgehenden Gewölbeteilen gelenkig.

Auf Grund der grossen Spannweite von 100 m, welche diese zylinderförmige Abdeckung zur grössten der bisher gebauten macht, der beachtlichen Helligkeit im Innenraum, der eindrucksvollen Schlankheit und der originalen Bauverfahren, bildet sie einen Grundstein von grosser Bedeutung für den Bau von Gewölben grösserer Spannweiten.